

Measurement of the blanket position in solution salt mining processes by use of a fiber optic cable as a temperature measurement probe, with measured temperature depth distributions used to determine blanket position

Publication number: DE10149092

Publication date: 2003-04-30

Inventor:

Applicant: FRETER ELKE (DE)

Classification:

- international: **E21B43/28; G01K11/32; E21B43/00; G01K11/00;**
(IPC1-7): E21C41/20; G01K11/32

- european: E21B43/28B; G01K11/32

Application number: DE20011049092 20011005

Priority number(s): DE20011049092 20011005

[Report a data error here](#)

Abstract of DE10149092

Method in which a heatable fiber optic cable is placed in the annular space between the outer brine path and the last pipe tower. The cable can be in the form of a cable loop or can have a cable termination. The fiber optic temperature measurement system is based on Raman backscatter effects. The temperature depth distribution is measured and stored both during heating and cooling phases. The position of the blanket is determined from the temperature distribution measurements. The invention also relates to a corresponding measurement arrangement.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 101 49 092 B4** 2005.11.03

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **101 49 092.5**
(22) Anmeldetag: **05.10.2001**
(43) Offenlegungstag: **30.04.2003**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **03.11.2005**

(51) Int Cl.⁷: **E21C 41/20**
G01K 11/32

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**GESO-Gesellschaft für Sensorik geotechnischen
Umweltschutz und mathematische Modellierung
mbH Jena, 07749 Jena, DE**

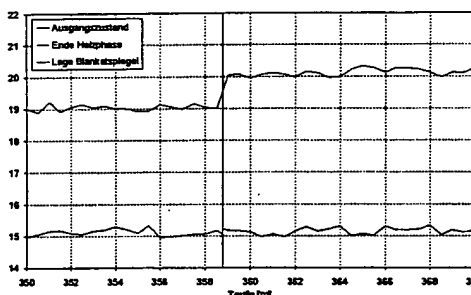
(74) Vertreter:
Meissner, Bolte & Partner GbR, 80538 München

(72) Erfinder:
Antrag auf Nichtnennung

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 199 50 111 C1
DE 43 04 546 C2
WO 1999/0 60 360 A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Blanketspiegel-Überwachung von Speicher- und Solegewinnungskavernen und Verwendung faseroptischer Sensorkabel hierfür**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Blanketspiegel-Überwachung von Speicher- und Solegewinnungskavernen, welche einen äußeren Solstrang sowie verfestigte Rohrtouren aufweisen, dadurch gekennzeichnet, daß in den Ringraum zwischen dem äußeren Solstrang und der letzten Rohrtour mindestens ein beheizbares faseroptisches Sensorkabel in Form einer Kabelschleife oder mit einer Kabelabschlußdose versehen eingebracht wird, das oder die äußeren oberen Enden des oder der Sensorkabel an ein faseroptisches Temperaturmeßsystem, beruhend auf Raman-Rückstreuungseffekten, und der bevorzugt als elektrische Leiter ausgebildete Heizer an eine Stromversorgung angeschlossen wird, zunächst die Temperatur-Teufen-Verteilung im Ringraum bestimmt und anschließend der elektrische Heizer aktiviert wird, während des Heizens weitere Temperatur-Teufen-Verteilungs-Messungen durchgeführt werden, um nach Feststellen eines thermischen Gleichgewichtszustands zwischen durch Heizung zugeführte und durch in die Umgebung abgeführte Wärmemenge die Heiz-Stromversorgung abzuschalten, Bestimmung der Temperatur-Teufen-Verteilung während der Abkühlphase in vorgegebenen Schritten, Abspeichern der quasi-kontinuierlichen Temperatur-Teufen-Verteilungs-Messungen sowohl während der Heiz- als auch der Abkühlphase und Bestimmen der Lage des Blanketspiegels durch...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Blanketspiegel-Überwachung von Speicher- und Solegewinnungskavernen, welche einen äußeren Solstrang sowie verfestigte Rohrtouren aufweisen, gemäß Oberbegriff des Patentanspruchs 1, sowie eine Verwendung von faseroptischen Sensorkabeln hierfür.

[0002] Speicher- und Solegewinnungskavernen sind große untertägige Hohlräume, die in geeigneten Salzformationen angelegt werden. In Abhängigkeit von der konkreten geologischen Situation lassen sich geometrische Volumina bis zu 800.000 m³ in Teufen bis zu 3.000 m realisieren.

[0003] Kavernen dienen zur Untertagespeicherung von flüssigen und gasförmigen Kohlenwasserstoffen. Die Untertagespeicherung von derartigen Kohlenwasserstoffen ist im Vergleich zur obertägigen Speicherung kostengünstiger, sicherer und umweltfreundlicher. Mit Hilfe der Untertagespeicherung von Erdgas ist es möglich, eine Bevorratung für den saisonalen Spitzenbedarf als auch die Schaffung strategischer Reserven zu realisieren.

[0004] Die Nutzung von Salzkavernen gestattet die Deponierung von wasserlöslichen, umweltbelastenden Sonderabfällen in einem günstigen Kosten-/Nutzenverhältnis.

[0005] Die Sole-/Salzgewinnung durch soltechnische Verfahren, das sogenannte Solution Mining, ist im Vergleich zum konventionellen Salzbergbau besonders kostengünstig. Zur Herstellung der Kavernen werden Verfahren eingesetzt, die eine zielgerichtete Beeinflussung der geometrischen Kavernenform gestatten.

[0006] Beim direkten Solverfahren ist eine schnelle Volumenentwicklung im unteren Kavernenbereich gegeben, während das indirekte Solverfahren zu einem schnellen Volumenzuwachs im oberen Kavernenbereich führt.

[0007] Um die vorgegebene Kavernenform beim Solvorgang zu erreichen, werden abwechselnd beide Verfahren bei unterschiedlichen Absatzteufen der beiden inneren Rohrstränge und bei unterschiedlichen Solraten eingesetzt. Bei beiden Verfahren befindet sich im äußeren Ringraum das Schutzmedium, ein sogenanntes Blanket. Als Blanket werden Medien eingesetzt, die leichter als die Sole und nicht salzlöslich sind, z.B. Öle, Propan, Stickstoff oder ähnliches. Dieses Blanket soll den Solprozeß im Dachbereich der Kaverne unterbinden.

[0008] Um den Solprozeß so steuern zu können, daß die vorberechnete geometrische Kavernenform realisiert werden kann, ist eine genaue Lagebestimmung

des Blanketspiegels von wesentlicher Bedeutung.

Stand der Technik

[0009] Ein bekanntes Verfahren zur Blanketspiegel-Bestimmung besteht darin, beim Umbau des Solgestänges das Gestänge zu ziehen und den Blanketspiegel mittels Lotung zu ermitteln. Dieses Verfahren ist einfach, erfordert aber zwingend den Ausbau des Solgestänges. Da dieser Ausbau kostenintensiv ist, können die Messungen nur in größeren zeitlichen Abständen beim technologisch bedingten Umbau des Solgestänges erfolgen. Die größeren zeitlichen Abstände zwischen den Messungen erlauben somit keine genaue Erfassung von Blanketspiegel-Schwankungen.

[0010] Ein weiteres Verfahren, zurückgehend auf eine Entwicklung der SOCON GmbH, Giesen, nutzt die unterschiedliche elektrische Leitfähigkeit zwischen Sole und Blanket.

[0011] Hierzu wird eine Schiene mit elektrischen Kontakten, die sich in einem definierten Abstand zueinander befinden, an der Außenseite des äußeren Rohrstrangs befestigt. Aufgrund der guten elektrischen Leitfähigkeiten der Sole schließt diese die im Bereich der Sole befindlichen Kontakte kurz, während das Blanket wie ein Isolator wirkt. Damit ist es möglich, die Lage des Blanketspiegels in situ zu überwachen. Es hat sich jedoch gezeigt, daß in der Praxis dieses Meßverfahren sehr störanfällig und schwer handhabbar ist. Auch sind die elektrischen Zuleitungen für die Kontaktschiene eine kaum zu vermeidende Schwachstelle.

[0012] Zum Stand der Technik gehört noch ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Monitoring von Temperaturverteilungen auf der Basis verteilter faseroptischer Sensorik sowie deren Anwendung gemäß WO 99/60360.

[0013] Aus dem Vorgenannten ist es daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur in situ Blanketspiegel-Überwachung von Speicher- und Solegewinnungskavernen anzugeben, welche einen äußeren Solstrang sowie verfestigte Rohrtouren aufweisen.

Aufgabenstellung

[0014] Die Lösung der Aufgabe der Erfindung erfolgt verfahrensseitig gemäß einer Lehre nach Patentanspruch 1 sowie mit einer Verwendung nach Patentanspruch 2.

[0015] So wird erfindungsgemäß in den Ringraum zwischen dem äußeren Solstrang und der letzten Rohrtour mindestens ein beheizbares faseroptisches Sensorkabel in Form einer Kabelschleife oder mit ei-

ner Kabelabschlußdose versehen eingebracht. Das oder die äußeren oberen Enden des Sensorkabels werden an ein faseroptisches Temperaturmeßsystem, beruhend auf Raman-Rückstreuungseffekten, und die bevorzugt als elektrische Leiter ausgebildeten Heizer an eine Stromversorgung angeschlossen.

[0016] Zunächst wird die Temperatur-Teufen-Verteilung im Ringraum bestimmt und anschließend der elektrische Heizer aktiviert. Während des Heizens werden weitere Temperatur-Teufen-Verteilungs-Messungen durchgeführt, um nach Feststellen eines thermischen Gleichgewichtszustands zwischen durch Heizung zugeführte und durch in die Umgebung abgeführte Wärmemenge die Heiz-Stromversorgung abzuschalten. Auch während der Abkühlphase besteht die Möglichkeit, die Temperatur-Teufen-Verteilung in vorgegebenen Schritten quasi-kontinuierlich vorzunehmen. Die Temperatur-Teufen-Verteilungs-Meßergebnisse werden abgespeichert, wobei bevorzugt sowohl die Meßwerte während des Heizens als auch während der Abkühlphase berücksichtigt werden.

[0017] Im Anschluß erfolgt ein Bestimmen der Lage des Blanketspiegels durch Feststellen der unterschiedlichen Temperaturniveaus, insbesondere nach Erreichen des thermischen Gleichgewichts. Auch können unterschiedliche Werte des aus den Meßdaten berechneten integralen Wärmeübergangs-Widerstands von Sensorkabel zur Sole bzw. Blanket zur Blanketspiegel-Bestimmung herangezogen werden.

[0018] Eine weitere Möglichkeit besteht durch Analyse der unterschiedlichen Werte eines Parameters $x(t)$ nach Anfiten des Temperaturverlaufs über der Zeit während der Abkühlphase. Bei der Zielfunktion für die Fitt-Prozedur handelt es sich hier um ein Exponentialintegral, welches das thermische Verhalten im Nicht-Gleichgewichtszustand beschreibt.

[0019] Für das einzusetzende faseroptische Temperatursensorkabel kann ein solches wie in der DE 199 50 111 C1 beschrieben verwendet werden. Die dort offenbarten Merkmale gelten ausdrücklich als vorstehender Erfindung zugehörig. Gleiches gilt für die spezielle Ausführung einer Kabelabschlußdose nach DE 43 04 546 C2, die in Alternative zur schleifenförmigen Verlegung bei faseroptischer Sensorik am unteren Ende der Faser einsetzbar ist.

[0020] Die Verwendung zur Blanketspiegel-Überwachung von Speicher- und Solegewinnungskavernen geht davon aus, zwischen Ringraum und äußerem Solstrang und der letzten verfestigten Rohrtour mindestens ein beheizbares faseroptisches Temperatursensorkabel bevorzugt am äußeren Rohrstrang, z.B. durch Schellen zu befestigen. Das faseroptische Sensorkabel steht dann mit einer an sich bekannten Auswerteeinrichtung in Verbindung, die zusätzlich

über eine Stromversorgung für das im Kabel integrierte oder separat geführte Heizkabel verfügt.

[0021] Zusammenfassend wird also die Aufgabenstellung durch den Einbau eines beheizbaren faseroptischen Temperatursensorkabels in den Ringraum zwischen dem äußeren Solstrang und der letzten, z.B. zementierten Rohrtour gelöst. Das beheizbare faseroptische Temperatursensorkabel kann entweder als Kabelschleife oder als Kabel mit einer Kabelabschlußdose am unteren Ende in die Bohrung eingebaut werden. In einer Ausführungsform wird das beheizbare faseroptische Temperatursensorkabel an den äußeren Solstrang angeschellt. Die Befestigungselemente sind hierbei so ausgebildet, daß das Kabel beim Einfahren des Solstrangs gegen mechanische Beschädigung geschützt ist.

[0022] Das beheizbare faseroptische Temperatursensorkabel wird am Bohrlochkopf aus der Bohrung herausgeführt und an ein faseroptisches Temperaturmeßsystem, das das Blanketspiegel-Meßgerät darstellt, angeschlossen. Das Blanketspiegel-Meßgerät umfaßt demnach das erwähnte faseroptische Temperaturmeßsystem sowie eine Stromversorgung für die Heizleiter und einen Steuer- und Auswerterechner.

[0023] Das Meßgerät ist konstruktiv so ausgeführt, daß mit einem zentral aufgestellten Gerät über eine Multiplexing-Baugruppe die Erfassung mehrerer Blanketspiegel verschiedener Sollokationen nacheinander möglich wird.

[0024] Zur Bestimmung der Lage des Blanketspiegels wird die Temperatur-Teufen-Verteilung im Ringraum, in den das Sensorkabel eingebaut wurde, gemessen.

[0025] Anschließend werden die im beheizbaren faseroptischen Temperaturmeßkabel befindlichen Heizleiter mit einem elektrischen Strom beaufschlagt. Die Heizleistung beträgt beispielsweise 5 bis 10 W/m. Hierbei kommt es zu einer Erwärmung des Sensorkabels. Aufgrund der unterschiedlichen thermischen Eigenschaften von Sole und Blanket wird die im Kabel erzeugte Wärme unterschiedlich stark vom Kabel abgeführt. Dies bedeutet, daß sich nach endlicher Zeit unterschiedliche Temperaturniveaus entlang des Kabels im Bereich der Sole und des Blankets entlang des Kabels einstellen.

[0026] Während der Heizphase wird in kurzen Zeitintervallen von ca. 1 bis 10 Minuten die Temperatur-Teufen-Verteilung entlang des Sensorkabels gemessen und online vom Steuer- und Auswerterechner bewertet.

[0027] Ist der thermische Gleichgewichtszustand erreicht, d.h. im Kabel wird genau so viel Wärme pro-

duziert wie in die Umgebung abgeführt werden kann, erfolgt ein automatisches Abschalten der Heizung vom Steuer- und Auswerterechner des Meßgeräts.

[0028] Aufgrund der unterschiedlichen thermischen Eigenschaften von Sole und Blanket kühlt sich das Sensorkabel im Bereich der Sole und des Blankets unterschiedlich schnell ab. Während der Abkühlphase wird die Temperatur-Teufen-Verteilung entlang des Sensorkabels ebenfalls in kurzen Zeitintervallen von z.B. 1 bis 10 Minuten erfaßt, im Rechner abgespeichert und ausgewertet.

[0029] Die quasi kontinuierliche Erfassung der Temperatur-Teufen-Verteilung wird bis zum Erreichen des thermischen Gleichgewichts, d.h. keine Temperaturänderungen größer 0,1 K/min, fortgesetzt. Nach Abschluß der Messungen führt der Steuer- und Auswerterechner des Meßgeräts automatisch die Berechnung der Position des Blanketspiegels durch.

[0030] Für diese Positionsbestimmung können drei unterschiedliche, aber auch kombinierbare Kriterien für eine Lösung herangezogen werden.

[0031] Zum einen werden die unterschiedlichen Temperaturniveaus nach Erreichen des thermischen Gleichgewichts am Ende der Aufheizphase bestimmt. Zum anderen werden unterschiedliche Werte des aus den Temperaturmeßdaten berechneten integralen Wärmeübergangs-Widerstands vom Sensorkabel zur Sole bzw. dem Blanket herangezogen.

[0032] Auch besteht die Möglichkeit, eine Auswertung anhand unterschiedlicher Werte eines Parameters $x(t)$ nach Anfiten des Temperaturverlaufs über der Zeit während der Abkühlphase gemäß nachstehender Funktion vorzunehmen:

$$T(t) \approx \int_{x(t)^2}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$$

[0033] Bei der genannten Zielfunktion für die Fitt-Prozedur handelt es sich um ein Exponentialintegral, welches das thermische Verhalten im Nicht-Gleichgewichtszustand beschreibt.

Ausführungsbeispiel

[0034] Die Erfindung soll nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels sowie unter Zuhilfenahme der **Fig. 1** bis **Fig. 3**, die das Ergebnis realer Messungen zeigen, näher erläutert werden.

[0035] Gemäß Ausführungsbeispiel wurde ein beheizbares faseroptisches Sensorkabel in den Ringraum zwischen einem äußeren Solstrang und der letzten, zementierten Rohrtour eingebracht wobei ein

übliches direktes oder in direktes Solverfahren Anwendung fand.

[0036] Die **Fig. 1** und **Fig. 2** zeigen einerseits die gemessene Temperatur-Teufen-Verteilung im Sole/Blanket gefüllten Ringraum und andererseits die zeitliche Entwicklung der gemessenen Temperatur in verschiedenen Teufen im Sole/Blanket gefüllten Ringraum nahe des Blanketspiegels.

[0037] In der Abkühlphase wird das unterschiedliche Abklingverhalten der Temperatur im Blanket und in der Sole an das sogenannte Exponentialintegral angepaßt. Dabei wird ein Parameter $x(t)$ nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate bestimmt.

[0038] Aus den Meßwerten gemäß **Fig. 2** ergibt sich dann beispielsweise für die Abklingkurven im Blanket ein Zusammenhang von

$$x_{\text{Blanket}}(t) = (0,053 \cdot t + 0,10),$$

während im Bereich des mit Sole gefüllten Ringraums ein Zusammenhang von

$$x_{\text{Sole}}(t) = (0,085 \cdot t + 0,17)$$

ermittelt wurde.

[0039] Beide oben genannten Zusammenhänge sind deutlich verschieden, so daß eine eindeutige Unterscheidung zwischen Blanket und Sole möglich ist. **Abb. 3** zeigt hier den Vergleich der gemessenen mit den berechneten Abklingkurven im Blanket und in der Sole.

[0040] Zusammenfassend läßt sich mit der Erfindung in besonders einfacher Weise eine in situ Messung des Blanketspiegels erreichen, ohne daß aufwendige An- und Umbauten an der vorhandenen Technik erforderlich sind. Weiterhin vermeidet die Erfindung elektrische störanfällige Kontakte, die bisher bei Leitfähigkeitsmessungen zur Blanketspiegel-Bestimmung eine wesentliche Fehlerquelle darstellten.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Blanketspiegel-Überwachung von Speicher- und Solegewinnungskavernen, welche einen äußeren Solstrang sowie verfestigte Rohrtouren aufweisen,

dadurch gekennzeichnet, daß

in den Ringraum zwischen dem äußeren Solstrang und der letzten Rohrtour mindestens ein beheizbares faseroptisches Sensorkabel in Form einer Kabelschleife oder mit einer Kabelabschlußdose versehen eingebracht wird, das oder die äußeren oberen Enden des oder der Sensorkabel an ein faseroptisches Temperaturmeßsystem, beruhend auf Raman-Rückstreuungseffekten,

und der bevorzugt als elektrische Leiter ausgebildete Heizer an eine Stromversorgung angeschlossen wird,
 zunächst die Temperatur-Teufen-Verteilung im Ringraum bestimmt und anschließend der elektrische Heizer aktiviert wird,
 während des Heizens weitere Temperatur-Teufen-Verteilungs-Messungen durchgeführt werden, um nach Feststellen eines thermischen Gleichgewichtszustands zwischen durch Heizung zugeführte und durch in die Umgebung abgeführte Wärmemenge die Heiz-Stromversorgung abzuschalten,
 Bestimmung der Temperatur-Teufen-Verteilung während der Abkühlphase in vorgegebenen Schritten,
 Abspeichern der quasi-kontinuierlichen Temperatur-Teufen-Verteilungs-Messungen sowohl während der Heiz- als auch der Abkühlphase und Bestimmen der Lage des Blanketspiegels durch Feststellen der unterschiedlichen Temperaturniveaus nach Erreichen des thermischen Gleichgewichts, der unterschiedlichen Werte des aus den Meßdaten berechneten integralen Wärmeübergangs-Widerstands von Sensorkabel zur Sole bzw. Blanket und/oder der unterschiedlichen Werte nach Anfiten des Temperaturverlaufs über die Zeit während der Abkühlphase unter Nutzung des Exponentialintegrals zum Beschreiben des thermischen Verhaltens im Nicht-Gleichgewichtszustand.

2. Anwendung eines oder mehrerer beheizbarer faseroptischer Temperatursensorkabel zur Blanket-spiegel-Überwachung von Speicher- und Solegewinnungskavernen, wobei das oder die Temperatursensorkabel in dem Ringraum zwischen dem äußeren Solstrang und der letzten Rohrtour befindlich und am äußeren Rohrstrang befestigt sind, wobei das oder die faseroptischen Sensorkabel zu einem faseroptischen Temperaturmeßsystem führen und die als elektrischer Leiter ausgeführten Heizer an eine Stromversorgung angeschlossen sind.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

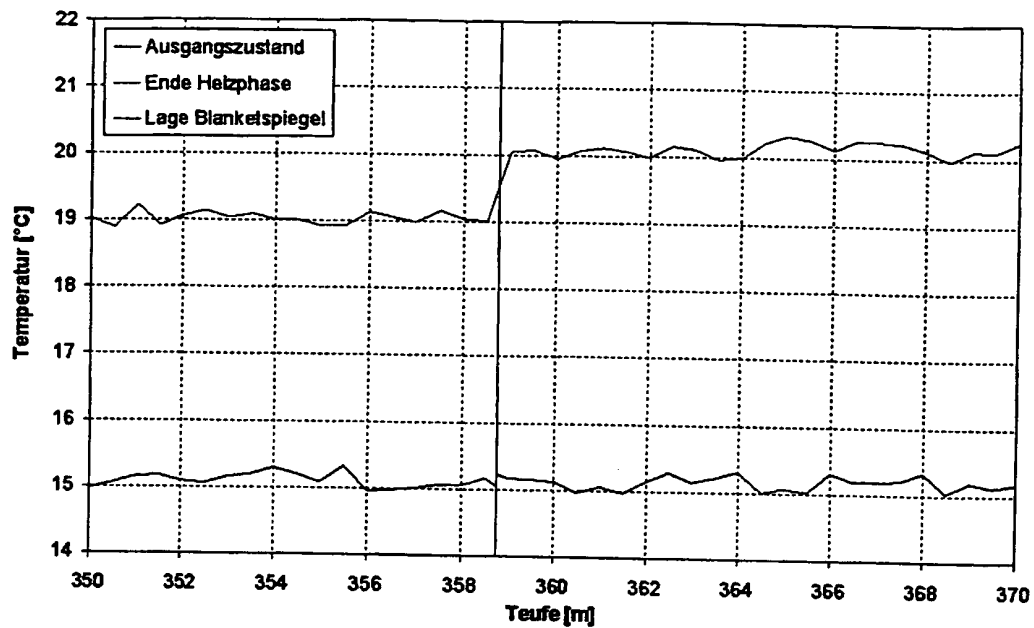


Fig. 1 Gemessene Temperatur-Teufen-Verteilung im Sole/Blanket gefüllten Ringraum

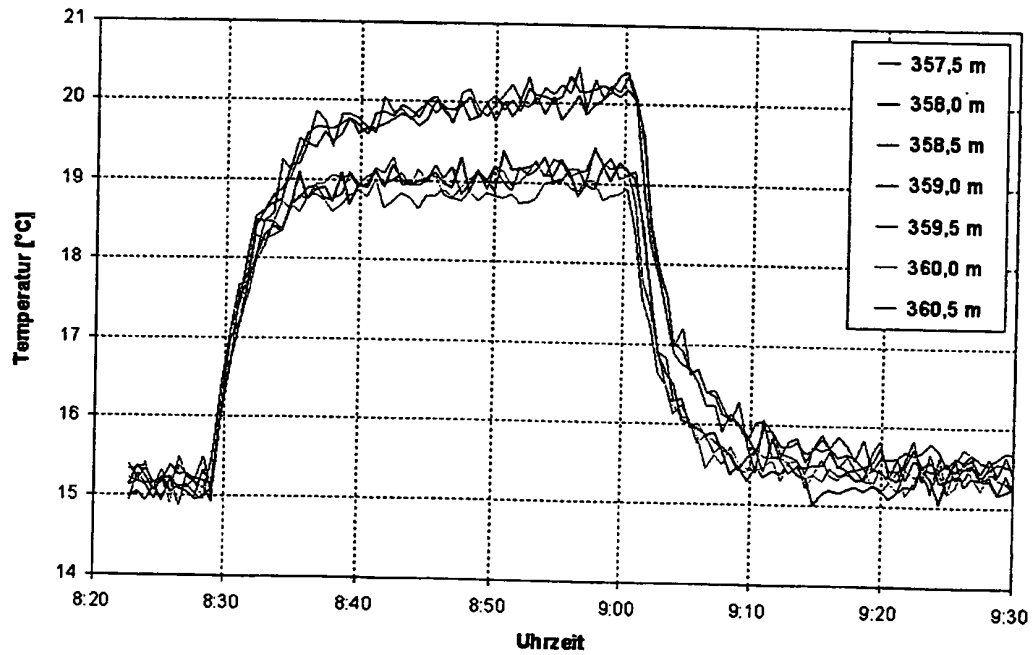


Fig. 2 Zeitliche Entwicklung der gemessenen Temperatur in verschiedenen Teufen im Sole/Blanket gefüllten Ringraum nahe des Blanketspiegels

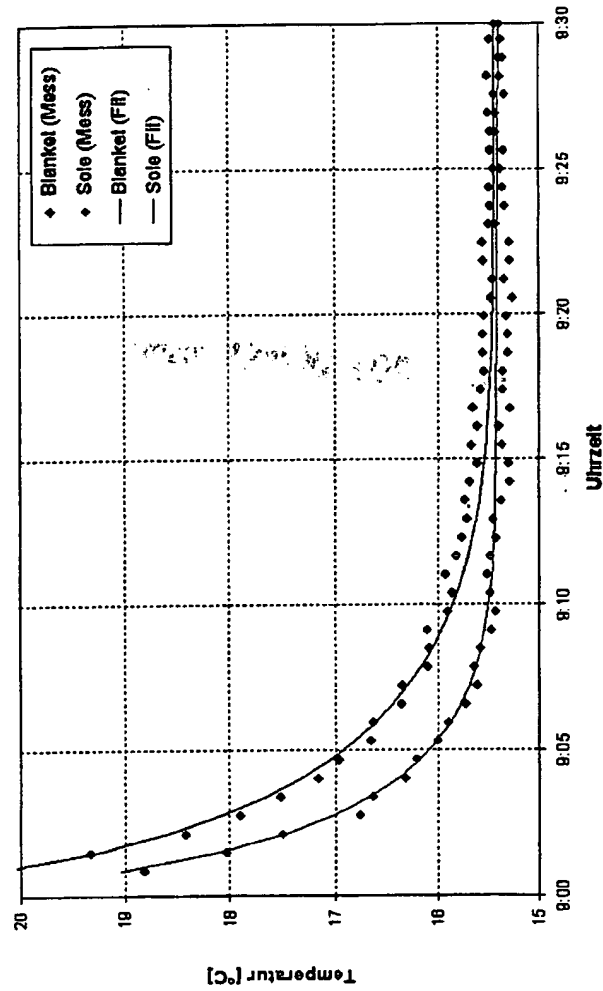


Fig. 3 Vergleich der gemessenen mit den berechneten Temperaturabklingkurven im mit Sole bzw. Blanket gefüllten Ringraum

THIS PAGE BLANK (USPTO)